

气候变动对农业影响的研究

石乡冈康史

农研机构·农业环境变动研究中心

1. 背景和目的

2004年到2008年间实施的第2期项目研究——《开发应对中国食品材料生产和市场变动的稳定供给系统（中国食品材料变动）》、是通过构建灾害早期警戒系统和农村经济稳定化的措施，以克服中国内陆和东北部多发的农业气象灾害为目的的研究。其中我所担任的课题是《开发运用网眼气候·气象值的农业气象灾害评估方法》，研究目的是整备作为早期警戒系统构建基础的气象信息。

在本课题中，作为研究对象的黑龙江省位于中国最北端，面积454000km²，是日本国土面积的约1.2倍。黑龙江省拥有广阔的农业耕地，即使在中国也是为数不多的谷仓地带。气候为典型的大陆性季风气候，年平均降水量在400~600mm左右，大部分降水集中在夏季（6月~8月）。另外，黑龙江省纬度高，但夏季气温相对较高，日照量大。在这样的气候特点下，近年来，水稻栽培被大规模地开展，生产量飞跃增加。但是，黑龙江省在气候上是水稻栽培北边地区的界限，这一点是没有改变的，气温是制约水稻生产的主要原因。因此，水稻生产每年都会因气温的变化而受到影响，经常会发生因严重的低温而导致减产和水稻品质下降。

黑龙江省的稻田广泛分布在嫩江和松花江流域的低处，北边的界限在黑河（北纬50度）附近。由于分布地域广泛，存在一定差异，但移植大概是在5月中旬到6月初，9月末开始收获。但是，生长期前半段时间（营养生长期）如果一直处于低温状态，稻子发育就会延迟，登熟期间遇上秋天的低温期，很有可能给稻子的成熟带来影响（延迟型冷害）。另外，出穗期前的危险期（幼穗形成期到开花期）如果最低气温低于20℃，就会妨碍生殖，导致不能正常育花的可能性非常高（妨碍型冷害）。在推断黑龙江省水稻的生育和收获量的水稻生育模型上，这种推断低温导致收获量减少的数值是重点。

近年来，黑龙江省的气温有上升倾向，虽然有人认为这可以减轻水稻生产中由低温导致的灾害风险，但也有报告指出由于气温每年大幅变动而导致的妨碍型冷害反而增加。另外低温受害的发生情况因地域不同而有所差异，在近几年不断变动的气候条件下，要定量评估在什么地区发生了什么程度的低温受害，需要拥有适宜的时空分辨率、性质均等且精度较高的气象信息。网眼气象值正是以符合经纬度的网眼（mesh）划分领域，表示每个区域的气温和降水量等气象数据，它是由分布在各处的气象观测站实测到的数据，在考虑到地形等地理信息的基础上，补充了空间数据而制作的数据。因而不仅可以得到没有设置观测点的任意地点的气象值，而且还能从时空两方面得到性质均一的气象信息，明确记录水稻繁育相关的各种索引的空间分布特征成为了可能。

本课题由公开的每月网眼气候值（正常年份值）和每天的地上气象观测数据组合，以包括研究对象黑龙江省在内的中国全国的每日网眼气象数据制作而成的。接着运用这些数据，以黑龙江省水稻收获量相关的典型年份——1997年（正常年份；6.16t/ha）、2001年（丰年；6.44t/ha）、2002年（欠收；5.86t/ha），就各个年份的气象值分布特征和黑龙江省水稻

生产及低温灾害发生状况之间的关系进行了考察。另外，本课题是在日方的农业环境技术研究所（现农研机构·农业环境变动研究中心）和中方的中国农业科学院、黑龙江省农业科学院的合作下实施的。

课题实施负责人：

鸟谷均、石乡冈康史（农业环境技术研究所）

许吟隆（中国农业科学院）

娇江、许显滨（黑龙江省农业科学院）

2. 方法和顺序

在本项目的责任课题上，首先实施制作了对把握低温灾害发生状况的空间特征必不可少的每日网眼气象值。制作的气象值为日平均、最高、最低气温、每日总降水量、合计日照量，对象为中国全土，空间分辨率为 0.1 度（约 10km）。空间插值计算使用的是 Moving Least Squares (MLS) 法。实测数据由中国农业科学院持续发展研究所（以下简称持续研）保有。本课题使用了中国气象局观测中国国内数据，以及通过互联网得到的中国周边地区的观测点（WMO Resolution40; NCDC Global Summary of Day、NOAA）监测的每日数据。中国气象局的数据中包括了全土约 700 个地点的 1950 年以后的数据。但由于实测日照量的地点只有约 100 个比较少，考虑到数据质量可能会有问题，本课题开发了从日照时间（从日照时间开始在全地点进行测定）推测日照量的方法。用这种方法计算了推算出的日照量的空间近视值。WMO 数据中不包括日照时间，因此没有用于推算日照量。另外开发的网眼气象值制作算法列入了早期警戒系统，本课题只使用了可实时获得的 WMO 数据。而中国全土网眼气象值的制作是由中国农业科学院负责的。

上述以中国全土为对象的网眼数据，由于领域极广，在制作长时间的每日值时需要大量的计算时间和大容量的存储器，因此这次只以黑龙江省为对象，准备的数据是黑龙江省分析用网眼气象数据。对象范围是包括了整个黑龙江省，纬度 $43^{\circ}\text{N} - 54^{\circ}\text{N}$ 、经度 $120^{\circ}\text{E} - 136^{\circ}\text{E}$ ，空间分辨率为 $5' \times 5'$ （约 $8\text{km} \times 8\text{km}$ ）。数据制作以气温及日照量为主，气温包括日平均、最高、最低值、日照量包括日合计日照量。制作数据时，本课题以准备对象领域的长期、高密度的气象数据设定为目的，网眼气象值制作算法使用的是计算负荷相对较小的距离倒数正常年份差（比）法（清野、1993）。这种算法通过在对象网眼的每日正常年份值上，加上从网眼周边观测地点观测的每日实况值和正常年份值中算出的正常年份差（比），来计算每日网眼气象值。因此，和地上气象观测点观测的每日实况值结合，对象领域的网眼每日正常年份值是必要的数据库。这里使用了全球 $10' \times 10'$ （约 $17\text{km} \times 17\text{km}$ ）制作的网眼气候值——Climate Research Unit dataset version CL2.0（CRU-CL2.0; New et al. 2002），从该数据中截取对象领域，空间分辨率是缩小到 $5' \times 5'$ 的图片（图1）。由于这个数据是每月值，本课题取样3次样条曲线近视值制作了各网眼的每日正常年份值。此外，黑龙江省周边的网眼气象值的制作，是在中国农业科学院、黑龙江省农业科学院的帮助下，由农业环境技术研究所（现农研机构·农业环境变动研究中心）实施的。

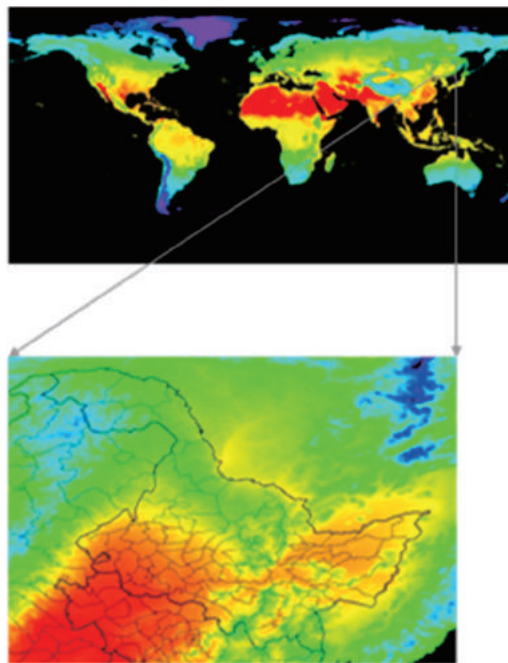


图1 CRU全球正常年份值中抽取的黑龙江省周边领域的年平均气温正常年份值

3. 结果和考察

本课题构建了一个系统，以计算上述的每日实测数据中的中国全土 0.1 度空间分辨率的每日网眼气象值。结果显示，1950 年以后各个年份的每日网眼气象值的输出成为了可能，本项目实施期间，整理了 1997、2001、2002 年各年以及 1971~2000 年的正常年份每日网眼气象值。如使用了正常年份每日网眼（日平均气温）的有效累计温度（ ΣT_m ; if $T_m \geq 10^\circ\text{C}$ ）的分布如图 2 所示。空白部分是有效累计温度每日未满足 2200°C ，对水稻的栽培而言必要的温度资源不足的地区。相反，着色地区则是只有温度条件满足水稻栽培的地区（这次没有考虑水的制约因素）。最北端检测出是黑龙江省北纬 50 度附近，这和实际水稻栽培的最北端（黑河附近）几乎是一致的结果。

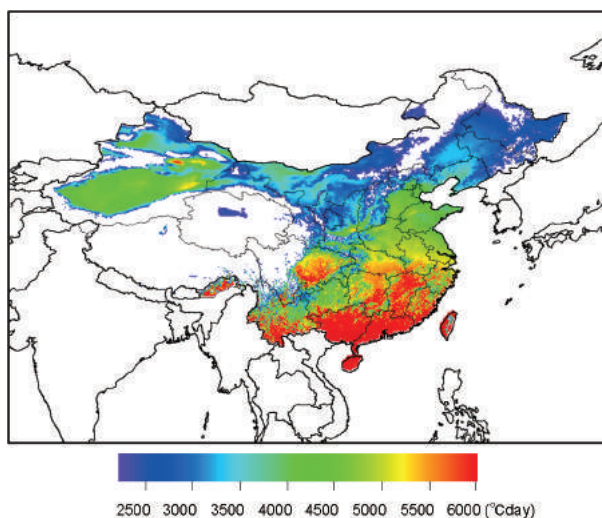


图 2 正常年份每日网眼数据中计算出的有效累计温度 ($T_m \geq 10^\circ\text{C}$) 的分布

接下来，1997、2001、2002 年 6~8 月（黑龙江省水稻栽培的主要生育期间）的平均气温和正常年份有所偏差的分布如图 3 所示。1997 年，从华北到东北、内蒙古温度较高，华中到华南的一部分地区较低。黑龙江省越往南温度越高。2001 年，从东北到新疆呈带状广泛分布在温度高的领域，黑龙江省的西边温度较高。到了 2002 年，从内蒙古到西北温度高的部分扩大，东北的东部温度较低。这一年黑龙江省发生了严重的低温灾害，省内大部分地区温度较低。但低温地区只有这一带，从全国来看温度高的地区很多，这是当年的一个特征。

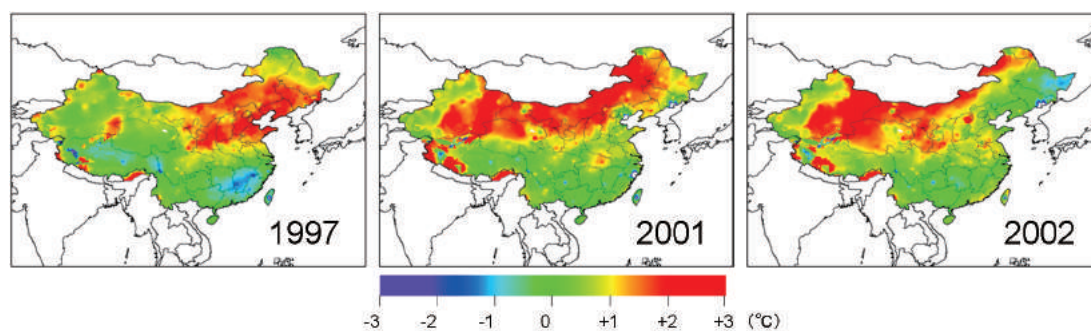


图 3 各年 6~8 月的平均气温相对正常年份的偏差（左：1997 年，中：2001 年，右：2002 年）

本课题使用了以黑龙江省周边地区为对象制作的副地域网眼数据，对各年水稻繁育相关的指标分布特征进行了调查。图 4 是延迟型低温灾害发生的预警。出穗后 40 日天的累计气温（从出穗日到 40 日间计算日平均气温的值）的分布图。这里假定各年全地区的出穗日为 8 月 5 日。图中，白色的网格部分是没有稻田的，这是使用了该题目下其他实施课题（运用卫

星数据开发农业生产量变动模拟技术)的一部分成果——稻田分布图,稻田以外的地区被遮挡住了。收成较低的2002年,累计气温在750℃以下的地区广泛分布在中央和东部三江平原,而收成较高的2001年,累计气温在750℃以上的地区基本大致分布在黑龙江省全部地区。据此可推测出在2002年,由于低温的影响登熟延迟,在稻子完全成熟之前温度降低,歉收可能性较高的地区从中心部扩大到东部。另外,2002年低温倾向推移,这里出穗的时间可能比假定的8月5日延迟。

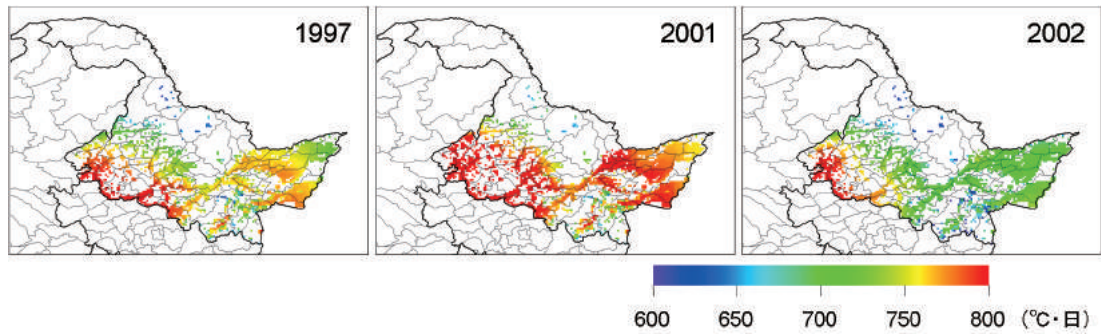


图4 延迟型低温灾害发生的预警。出穗日(假定8月5日)之后40日的累计气温分布(左:1997年,中:2001年,右:2002年)

图5表示的是妨碍型低温灾害发生的预警——以出穗前危险期日平均气温20℃为基准的冷却量的分布。冷却量是日气温低于20℃和日气温20℃的差值的累计计算值,是表示在开花期的底线低温——20℃以下曝光时间的指标。这个数值越大,就意味着在低温下曝光的时间越长,从而引起出穗前危险期的生殖障害。这里假定出穗前危险期为正常年份生育状况的7月20日到29日的10日。收成较低的2002年,中部到东部地区冷却量的范围较大。这一地区的水稻,由于长时间曝光在20℃以下的低温下,引起生殖障害,导致不育的可能性很高,是歉收的原因之一。

图6是出穗日(假定8月5日)之后40日的日照量累计值的分布。由于出穗后登熟期间的日照量是通过光合作用形成收获的动力,可推测出在日照量累计值较小的地区,出穗的稻谷内碳水化合物形成较少。2002年从中部到东部,日照量较少的地区分布范围扩大,据此可推测出登熟期间,低日照导致稻穗不饱满是当年歉收的原因之一。另外一方面,丰收的2001年,全地区跟其他年份相比日照量明显较多。

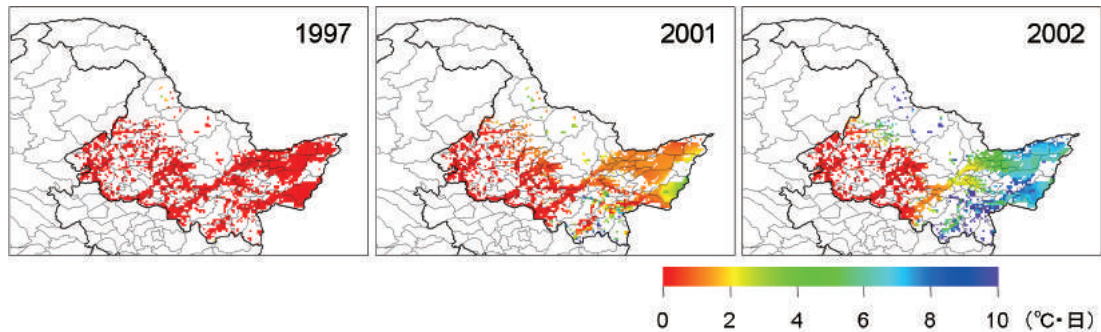


图5 妨碍型低温灾害发生的预警。危险期(假定7月20~29日)的日平均气温低于20℃的冷却量分布(左:1997年,中:2001年,右:2002年)

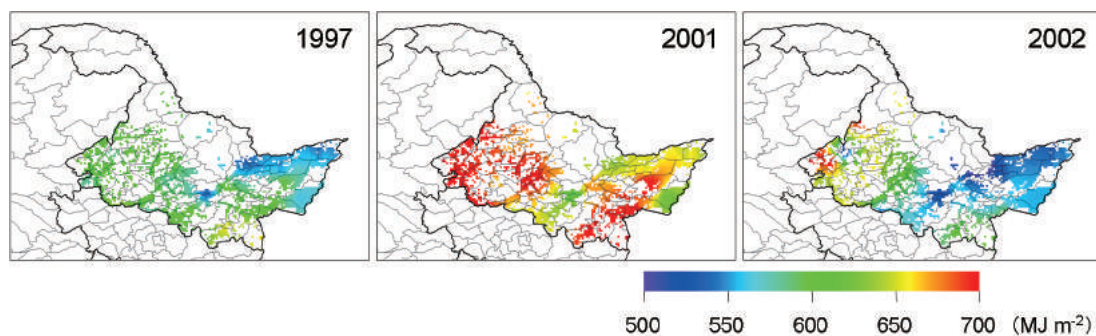


图6 出穗日(假定8月5日)之后的40日累计日照量的分布(左:1997年,中:2001年,右:2002年)

4. 结语

根据本课题实施负责机构——黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所的调查结果发现,2002年收成不好原因在于延迟型低温灾害和妨碍型低温灾害同时发生,日照也不充足。另外,受灾严重的地区为东部三江平原。这和图4的累计气温较低的地区,图5的在20℃以下低温下曝光时间较长的地区,图6日照量少的地区是一致的。综合上述内容,期待运用网眼气候、气象值的解析,能够给这些调查结果以定量的间接证明,对水稻繁育的模型化给与有益的信息。

参考文献:

- 1 New, M., D. Lister, M. Hulme and I. Makin, 2002. A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas, *Clim. Res.*, 22: 99-113.
- 2 Seino, H, 1993. An Estimation of Distribution of Meteorological Elements using GIS and AMeDAS Data, *J. Agric. Meteorol.*, 48(4): 379-383.